



Pemodelan Hasil Panen Padi terhadap Ketergantungan Cuaca Ekstrem di Indonesia Menggunakan Copula Gaussian

Sri Yuningsih, Embay Rohaeti, Yasmin Erika Faridhan*

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pakuan, Indonesia

*Correspondence: E-mail: yasminef@unpak.ac.id

ABSTRAK

Hasil panen padi yang baik memerlukan air yang cukup, tidak kekurangan dan tidak kelebihan air. Cuaca ekstrem merupakan salah satu penyebab kerugian para petani padi, karena ketika cuaca ekstrem terjadi dapat berakibat menurunnya hasil panen padi, bahkan gagal panen. Cuaca ekstrem terjadi jika curah hujan berintensitas rendah (0-100 mm) dan intensitas tinggi (300-500 mm). Pemodelan dilakukan untuk menduga hasil panen padi saat terjadi cuaca ekstrem menggunakan Copula Gaussian. Pendugaan parameter untuk model Copula dilakukan dengan pendekatan Kendall-Tau. Data penelitian yang digunakan merupakan data sekunder dari Badan Pusat Statistika yaitu data hasil panen padi (dalam satuan ton) pada tahun 2014-2018 dan data curah hujan (dalam satuan mm) pada tahun 2014-2018. Model Copula Gaussian yang dihasilkan adalah $C_{0.01884}(0.5, 0.63) = \Phi_{0.01884}(\Phi^{-1}(0.5), \Phi^{-1}(0.63))$. Model tersebut menunjukkan ketergantungan yang lemah antara hasil panen padi dengan curah hujan di Indonesia.

© 2022 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

ABSTRACT

Good paddy crop yield needs enough water, no more and no less. Extreme weather often causes paddy farmer financial loss; it may decrease paddy crop yield, or even crop failure. Extreme weather occurs when there is low intensity (0-100 mm) or high intensity rainfall (300-500 mm). A model is developed using Gaussian copula to estimate paddy crop yield when extreme weather occurred. Parameter estimation for the copula model is done using Kendall-Tau approach. Secondary data from Statistics Indonesia used in this study is paddy crop yield and rainfall data from year 2014 to 2018. The generated Gaussian copula model is $C_{0.01884}(0.5, 0.63) = \Phi_{0.01884}(\Phi^{-1}(0.5), \Phi^{-1}(0.63))$. The model shows a weak dependency between paddy crop yield and rainfall in Indonesia.

© 2022 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima 10 Maret 2022

Direvisi 30 Maret 2022

Disetujui 2 Mei 2022

Tersedia Online 15 Mei 2022

Dipublikasikan 1 Juni 2022

Kata Kunci:

Copula Gaussian,
Cuaca Ekstrem,
Hasil Panen Padi.

Keywords:

Extreme Weather,
Gaussian Copula,
Paddy Crop.

1. PENDAHULUAN

Hasil panen padi yang baik memerlukan air yang cukup, tidak kekurangan dan tidak kelebihan air. Hasil panen padi yang diperoleh bergantung pada cuaca. Jika terjadi cuaca ekstrem, hasil panen padi akan menurun. Hariyanto et al. (2018) mengungkapkan bahwa cuaca ekstrem terjadi ketika curah hujan dengan intensitas yang rendah (0-100 mm) dan curah hujan dengan intensitas yang tinggi (300-500 mm). Pemodelan dilakukan untuk menduga ketergantungan antara hasil panen padi dengan curah hujan pada kasus cuaca ekstrem. Pemodelan dilakukan menggunakan Copula Gaussian. Copula Gaussian merupakan Copula yang sesuai dalam memberikan model pada kasus ekstrem (Anik et al. 2019). Jika hasil model Copula Gaussian belum menemukan solusi yang tepat, maka dilakukan simulasi solusi numerik. Simulasi solusi numerik dilakukan menggunakan metode *Newton Raphson*.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang memodelkan luas panen padi dengan Copula. Budiani et al. (2015) mencari hubungan luas panen padi dan indikator ENSO, kemudian membuat pemodelan antara luas panen padi dan indikator *El-Nino Southern Oscillation (ENSO)* menggunakan Copula Clayton. Anisa dan Sutikno (2015) mengidentifikasi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi Jawa Timur menggunakan Copula Clayton dan Copula Frank.

Pada penelitian ini dilakukan pendugaan parameter untuk model hasil panen padi terhadap ketergantungan cuaca ekstrem di Indonesia dengan pendekatan Kendall-Tau. Kemudian dilakukan pemodelan menggunakan Copula Gaussian untuk hasil panen padi terhadap ketergantungan cuaca ekstrem.

2. METODE

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder berupa data hasil panen padi (dalam satuan ton) menurut provinsi di Indonesia dari tahun 2014 sampai 2018, dan data curah hujan (dalam satuan mm) menurut provinsi di Indonesia dari tahun 2014 sampai 2018. Data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistika <https://www.bps.go.id>.

2.2 Tahapan Penelitian

Rangkaian tahapan pemodelan:

1. Deskripsi Data

Berdasarkan Catur & Sri dalam bukunya yang berjudul '*Buku Ajar Biostatistik Deskriptif dan Inferensial*' tahun 2017, pada tahap ini dilakukan analisis statistika deskriptif untuk mendapatkan deskripsi data. Statistik yang diperoleh yaitu: mean, median, maksimum, minimum, simpang baku, kemenjuluran (*skewness*), dan kurtosis untuk peubah curah hujan dan hasil panen padi.

2. Pengujian Kolmogorov-Smirnov

Berdasarkan Anderson & Darling (1954), kriteria pengujian Kolmogorov -Smirnov yaitu:

- a. Jika peubah menghasilkan nilai-p (*p-value*) kurang dari $\alpha = 0,05$ maka data tidak menyebar normal.
- b. Jika peubah menghasilkan nilai-p lebih dari atau sama dengan $\alpha = 0,05$ maka data menyebar normal.

3. Transformasi Peubah Acak ke domain Seragam [0,1]

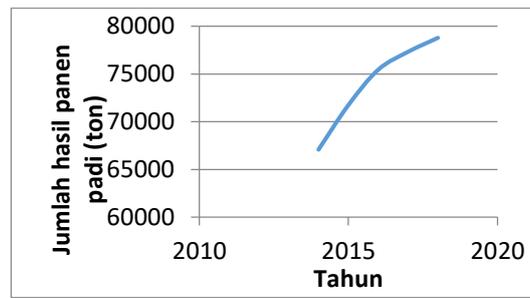
Menutip dari buku '*Statistika Matematika Berorientasi Pembelajaran Berbasis Riset*' karya Krisdiana, dkk., tahun 2018, langkah-langkah transformasi peubah acak ke domain Seragam [0,1] dilakukan sebagai berikut:

- a. Pembuatan grafik tebar (*scatterplot*) transformasi [0,1] dengan membuat peringkat plot untuk X_j .
 - b. Pembuatan peringkat plot dari $R_1^{(j)}$ yaitu peringkat data untuk X_1 sampai $R_m^{(j)}$ yaitu peringkat data untuk X_m .
4. Pendugaan Parameter Kendall-Tau (Genest & Favre, 2005)
Langkah-langkah yang dilakukan untuk pendugaan parameter model menggunakan Kendall-Tau yaitu sebagai berikut:
- a. Pendefinisian X dan Y melalui copula.
 - b. Pensubstitusian nilai koefisien korelasi Kendall-Tau ke fungsi persamaan Kendall-Tau Copula.
 - c. Pensubstitusian nilai pi ke fungsi persamaan Kendall-Tau Copula.
5. Pemodelan Copula Gaussian (Schweizer, 2007)
Pada tahap ini dilakukan pemodelan copula Gaussian, yaitu dengan pensubstitusian nilai koefisien dengan korelasi ρ ke fungsi copula Gaussian dan pensubstitusian hasil transformasi peubah.
- Jika model copula Gaussian yang dihasilkan tidak menghasilkan solusi yang tepat, maka dilakukan simulasi solusi numerik dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Jika model Copula Gaussian menghasilkan solusi yang tepat, maka dilanjutkan dengan interpretasi.
6. Simulasi Solusi Numerik menggunakan metode *Newton Raphson*
Langkah-langkah dalam melakukan simulasi solusi numerik menggunakan metode *Newton Raphson* adalah sebagai berikut (Akram & Ann, 2015; Verbeke & Cools, 1995):
- a. Pendefinisian fungsi $f(x)$.
 - b. Penentuan toleransi galat (e) dan iterasi maksimum (n).
 - c. Penentuan nilai pendekatan awal x_0 .
 - d. Perhitungan fungsi f dari x_0 dan turunan fungsi f dari x_0 .
 - e. Perhitungan fungsi f dari x_1 dan turunan fungsi f dari x_1 .
 - f. Akar persamaan adalah nilai x_i yang terakhir diperoleh.
7. Interpretasi
Pada tahap ini, interpretasi hasil dilakukan setelah didapatkan solusi yang tepat, apakah melalui pemodelan Copula Gaussian atau melalui simulasi solusi numerik menggunakan metode *Newton Raphson*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

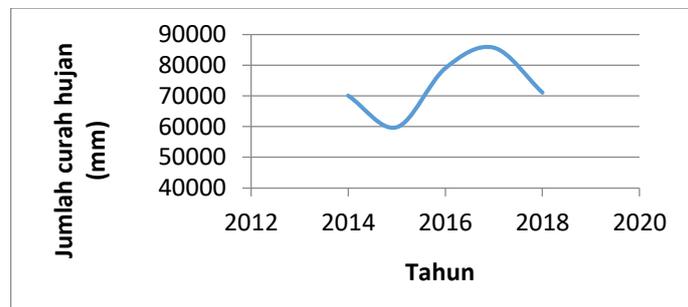
3.1. Deskripsi Data

Gambar 1 menunjukkan bahwa hasil panen padi di Indonesia terus mengalami kenaikan dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2018. Kenaikan hasil panen padi terbesar terjadi pada tahun 2014 sampai dengan tahun 2015 yaitu sebesar 5622,14 ton.



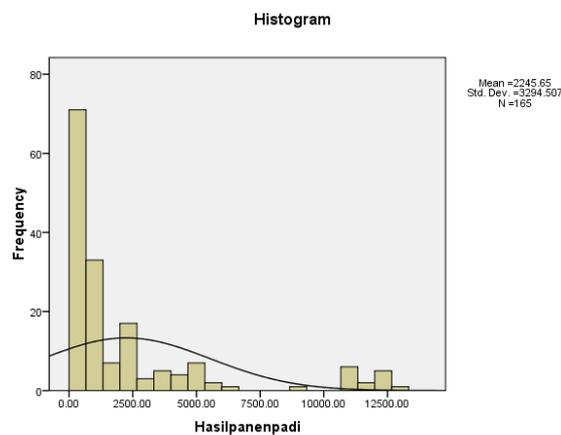
Gambar 1. Plot jumlah hasil panen padi tahun 2014 – 2018.

Gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah curah hujan di Indonesia berfluktuasi. Pada tahun 2015 jumlah curah hujan rendah karena pengaruh El Niño yang menyebabkan intensitas curah hujan menurun. Sedangkan pada tahun 2016 dan 2017, jumlah curah hujan lebih tinggi karena pengaruh La Niña yang menyebabkan intensitas curah hujan meningkat (Athoillah et al., 2017).



Gambar 2. Plot jumlah curah hujan tahun 2014 – 2018.

Histogram pada Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil panen padi tidak menyebar normal karena pola yang dihasilkan tidak simetris. Hal ini sesuai dengan perhitungan kemenjuleran (*skewness*), di mana didapatkan koefisien kemenjuleran yaitu 2,100. Uji Kolmogorov-Smirnov menghasilkan hal serupa, yaitu menunjukkan bahwa rata-rata hasil panen padi tahun 2014-2018 tidak menyebar normal karena nilai p (*p-value*) peubah hasil panen padi adalah $0,000 < \alpha$ (0,05).



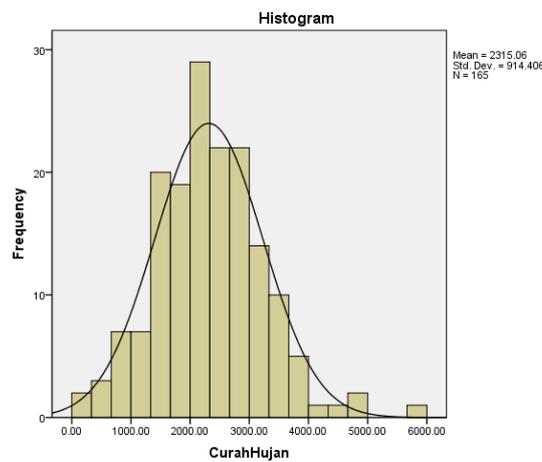
Gambar 3. Histogram rata-rata hasil panen padi tahun 2014 – 2018.

Tabel 1 menunjukkan bahwa koefisien kemenjuleran hasil panen padi setiap tahunnya dari 2014 sampai 2018 maupun rata-rata dalam lima tahun tersebut lebih dari +2. Ini berarti sebaran hasil panen padi condong atau menjulur ke kanan, seperti terlihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Koefisien kemenjuluran (*skewness*) peubah hasil panen padi tahun 2014 – 2018

Hasil Panen Padi (ton)	
Tahun	Koefisien Skewness
2014	2.302
2015	2.251
2016	2.197
2017	2.091
2018	2.059
Rataan tahun 2014-2018	2.100

Histogram pada Gambar 4 menunjukkan bahwa curah hujan menyebar normal karena pola yang dihasilkan mendekati simetris. Hal ini sesuai dengan perhitungan kemenjuluran (*skewness*), di mana didapatkan koefisien kemenjuluran yaitu 0.473. Uji Kolmogorov-Smirnov menghasilkan hal serupa, yaitu menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan tahun 2014-2018 menyebar normal karena nilai-p peubah curah hujan yaitu $0,809 > \alpha (0,05)$.

**Gambar 4.** Histogram rata-rata curah hujan tahun 2014 – 2018.

Tabel 2 menunjukkan bahwa koefisien kemenjuluran curah hujan per tahun secara umum berada diantara -0.5 dan +0.5, yang berarti sebaran data dianggap simetris. Namun demikian terdapat pengecualian; koefisien kemenjuluran pada tahun 2016 dan 2018 adalah lebih dari +1. Ini berarti sebaran curah hujan pada kedua tahun tersebut sangat menjulur ke kanan (*highly skewed*).

Tabel 2. Koefisien kemenjuluran (*skewness*) peubah curah hujan tahun 2014 – 2018

Curah Hujan (mm)	
Tahun	Koefisien Skewness
2014	-0.461
2015	0.335
2016	5.364
2017	0.089
2018	1.011
Rataan tahun 2014-2015	0.473

3.2. Transformasi Peubah Acak ke Domain Seragam [0, 1]

Transformasi peubah acak ke domain Seragam [0,1] dilakukan dengan membuat peringkat plot. Sebelum melakukan transformasi langkah yang dilakukan yaitu dengan membuat

peringkat (*rank*) dengan menggunakan *software* SPSS. Pencarian rank digunakan untuk mensubstitusikan hasil rank. Setelah membuat peringkat data, dilakukan transformasi peubah acak x dan y ke u dan v ke domain Seragam $[0,1]$.

Berikut ini contoh perhitungan transformasi x ke u . $R_1^{(2264,4)}$ untuk data pertama dan kedua curah hujan:

$$1. \left(\frac{R_1^{(2264,4)}}{n+1} \right) = \frac{80}{160+1} = 0,5$$

$$2. \left(\frac{R_2^{(2148,0)}}{n+1} \right) = \frac{70}{160+1} = 0,43$$

Hasil transformasi u dan v dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil transformasi u dan v

No	U	V
1	0,50	0,63
2	0,43	0,79
3	0,76	0,75
4	0,53	0,24
5	0,31	0,33
6	0,25	0,80
⋮	⋮	⋮
158	0,04	0,12
159	0,58	0,04
160	0,01	0,19

3.3. Pendugaan Parameter Copula

Setelah didapatkan hasil transformasi data, berikutnya dilakukan perhitungan korelasi Kendall-Tau. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai koefisien korelasi Kendall-Tau untuk peubah bebas curah hujan dan peubah tak bebas hasil panen padi yaitu 0,012.

Selanjutnya dilakukan pendugaan parameter Copula Gaussian sebagai berikut:

$$\rho = \sin\left(\frac{\pi\tau}{2}\right) = \sin\left(\frac{(3,14)(0,012)}{2}\right) = 0,01884.$$

Substitusi nilai koefisien korelasi Kendall-Tau dari *software* SPSS yaitu 0,012 (τ). Didapatkan hasil ρ sebesar 0,01884 yang artinya hubungan kedua peubah lemah.

3.4. Pemodelan Copula Gaussian

Setelah didapatkan hasil transformasi, selanjutnya hasil transformasi disubstitusikan ke fungsi Copula Gaussian. Sebelum disubstitusikan ke fungsi Copula Gaussian, dicari nilai φ dengan menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\varphi_{U,V,\rho}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{(u^2+v^2-2\rho uv)}{2(1-\rho^2)}}. \quad (1)$$

Nilai φ dihitung dengan mensubstitusikan nilai transformasi $u = 0,5$ dan $v = 0,63$ ke persamaan (1).

$$\begin{aligned} \varphi_{U,V,\rho}(0,5,0,63) &= \frac{1}{2(3,14)\sqrt{1-0,01884^2}} e^{\frac{-(0,5^2+0,63^2-2(0,01884)(0,5)(0,63))}{2(1-(0,01884^2))}} \\ &= 0,1593 e^{-0,32} = 0,116. \end{aligned}$$

Hasil pensubstitusian u dan v ke model Copula Gaussian dapat dilihat pada Tabel 4. Setelah didapatkan nilai φ , nilai φ disubstitusi ke persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_\rho(u, v) &= \frac{\varphi_{X,Y,\rho}(\Phi^{-1}(u), \Phi^{-1}(v))}{\varphi(\Phi^{-1}(u)\varphi(\Phi^{-1}(v)))} \\ C_{0,01884}(0,5,0,63) &= \frac{0,116(\Phi^{-1}(0,5), \Phi^{-1}(0,63))}{0,116((\Phi^{-1}(0,5)0,116((\Phi^{-1}(0,63)))} \end{aligned}$$

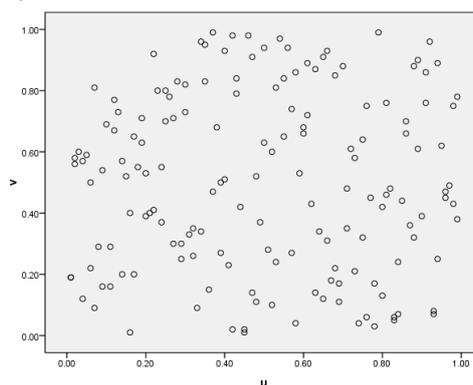
Tabel 4. Hasil pensubstitusian u dan v ke model Copula Gaussian

No	U	V	φ
1	0,50	0,63	0.115
2	0,43	0,79	0.107
3	0,76	0,75	0.092
4	0,53	0,24	0.134
⋮	⋮	⋮	⋮
158	0,04	0,12	0.158
159	0,58	0,04	0.134
160	0,01	0,19	0.156

Diperoleh model Copula Gaussian untuk peubah bebas curah hujan dan peubah tak bebas hasil panen padi menggunakan persamaan (10) dengan parameter $\rho = 0,01884$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_\rho(u, v) &= \Phi_\rho(\Phi^{-1}(u), \Phi^{-1}(v)) \\ C_{0,01884}(0,5,0,63) &= \Phi_{0,01884}(\Phi^{-1}(0,5), \Phi^{-1}(0,63)) \end{aligned}$$

Model ketergantungan dari Copula Gaussian untuk ketergantungan curah hujan terhadap hasil panen padi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram tebar hasil panen padi terhadap ketergantungan curah hujan.

Model Copula Gaussian yang diperoleh dengan parameter ρ sebesar 0,01884 menunjukkan adanya ketergantungan yang lemah antara hasil panen padi dengan curah hujan di Indonesia. Diagram tebar (*scatterplot*) Copula Gaussian untuk hasil panen padi terhadap ketergantungan curah hujan menunjukkan bahwa data menyebar secara acak, tidak membentuk pola yang jelas sehingga sulit untuk menjelaskan hubungan antar kedua peubah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai pemodelan hasil panen padi dan curah hujan menggunakan Copula Gaussian dalam penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pendugaan parameter untuk model Copula Gaussian; didapatkan nilai parameter $\rho = 0,01884$ dari hasil pendekatan Kendall-Tau, serta nilai $u = 0,5$ dan nilai $v = 0,63$ dari hasil transformasi x dan y .
2. Model hasil panen padi terhadap ketergantungan cuaca ekstrem dengan Copula Gaussian yang diperoleh dari hasil transformasi yaitu sebagai berikut:

$$C_{0,01884}(0,5, 0,63) = \Phi_{0,01884}(\Phi^{-1}(0,5), \Phi^{-1}(0,63))$$

Model Copula Gaussian menunjukkan adanya ketergantungan yang lemah antara hasil panen padi dengan curah hujan di Indonesia dalam kurun waktu 2014-2018. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Budiani et al. (2015).

Penelitian selanjutnya terkait hubungan panen padi dan curah hujan dapat menggunakan Copula-t atau keluarga Copula Archimedean lainnya. Disarankan pula untuk menggunakan data yang lebih akurat untuk meminimalisir ekstrapolasi akibat data hilang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akram, S., & Ann, Q. U. (2015). Newton Raphson method. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(7), 1748-1752.
- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1954). A test of goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765-769.
- Anik, D., Cici, S. & Banan, N. (2019). Peramalan curah hujan ekstrem di Provinsi Banten dengan model ekstrem spasial. *Media Statistika*, 12(1), 50-60.
- Anisa, K.N. & Sutikno. (2015). Analisis hubungan curah hujan dan indikator El-Nino Southern Oscillation di sentra produksi padi Jawa Timur dengan pendekatan copula. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), 2337-3520.
- Athoillah, I., Sibarani, R.M. & Doloksaribu, D.E. (2017). Analisis spasial El Nino kuat tahun 2015 dan La Nina lemah tahun 2016 (Pengaruhnya terhadap kelembapan, angin dan curah hujan di Indonesia). *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 18(1), 33-41.
- Budiani, R.J., Sutikno & Purhadi. (2015). Analisis hubungan dan pemodelan luas panen padi dengan indikator *El-Nino Southern Oscillation* di Kab. Bojonegoro melalui pendekatan copula dan regresi robust M-estimation. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), 2337-3520.
- Genest, C. & Favre, A.-C. (2005). Everything you always wanted to know about copula modelling but were afraid to ask. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 347-368.
- Hariyanto, T., Ramadhan, F. D., & Pribadi, C. B. (2018). Studi estimasi curah hujan pada kondisi cuaca ekstrem tahun 2017 melalui citra modis level 1B di Provinsi Jawa Timur. *Geoid Journal*, 13(2), 187-195.
- Schweizer, B. (2007). Introduction to copulas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 346-346.
- Verbeke, J., & Cools, R. (1995). The Newton-Raphson method. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 26(2), 177-193.